GEOLOGÍA DEL PERÚ

Una mirada a través de la geología peruana

SEGUNDA EDICIÓN

Sara Luz García Ccahuana

GEOLOGÍA DEL PERÚ.

UNA MIRADA A TRAVÉS DE LA GEOLOGÍA PERUANA.

Sara Luz García Ccahuana

Geología del Perú. Una mirada a través de la geología peruana.

Autor-Editor:

© Sara Luz García Ccahuana

Las Torres de la Alameda 103-10b – Miraflores – Arequipa, Perú

garciascc839@gmail.com

Arequipa, Perú

Segunda edición digital, abril 2025

Libro electrónico disponible en: https://archive.org/details/geologia-del-peru_20250414

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú: **N° 2025-03628**

ISBN: 978-612-03-0816-5

ÍNDICE

1. Historia Geológica del Perú 6

2. Tectónica de Placas y la Formación de los Andes 12

3. Recursos Minerales del Perú y su Formación Geológica 19

4. Vulcanismo en el Perú 26

5. Cuencas Sedimentarias 34

6. Geología Ambiental y Riesgos Naturales 41

7. Patrimonio Geológico y Geoturismo... 49

8. Geología de la Costa, Sierra y Selva . 57

9. Avances y Retos en la Geología del Perú..... 63

1. Historia Geológica del Perú

La historia geológica del Perú es un registro dinámico y complejo que abarca más de dos mil millones de años, reflejando la evolución de la corteza terrestre en el margen occidental de Sudamérica. Este proceso involucra múltiples eventos tectónicos, magmáticos, sedimentarios y metamórficos que han moldeado el territorio actual. A continuación, se detalla cada etapa geológica significativa del país:

Precámbrico (Antes de 541 millones de años)

El registro geológico más antiguo del Perú corresponde al Precámbrico, particularmente en el sur del país, donde se encuentran rocas metamórficas de alto grado, como granulitas y gneises, que datan de más de 2,000 millones de años. Estas rocas están expuestas en el Macizo de Arequipa-Antofalla, una unidad tectónica que formó parte del cratón proto-Gondwana. Los análisis isotópicos de neodimio y estroncio sugieren que estas rocas derivan de procesos de acreción y diferenciación crustal durante el Paleoproterozoico.

Durante el Neoproterozoico (hace aproximadamente 1,000-541 millones de años), el territorio peruano fue influenciado por la orogenia brasiliana, un evento tectónico relacionado con la amalgamación del supercontinente Gondwana. Este evento produjo deformación y metamorfismo regional, especialmente en el Macizo de Arequipa.

Paleozoico (541-252 millones de años)

En el Paleozoico temprano, el Perú formaba parte del margen occidental de Gondwana. Durante el Ordovícico y Silúrico, la sedimentación marina fue predominante, como lo evidencian las secuencias de lutitas y areniscas en la Cordillera Oriental. Estas rocas contienen fósiles de trilobites y graptolitos, indicadores clave de ambientes marinos profundos.

El Carbonífero y el Pérmico estuvieron marcados por la orogenia hercínica, que deformó y plegó las secuencias sedimentarias previas, generando intrusiones graníticas como el Batolito de San Ramón. Este periodo también vio la

formación de cuencas continentales, donde se depositaron conglomerados y areniscas rojizas, evidenciando un cambio hacia ambientes más áridos.

Mesozoico (252-66 millones de años)

El Mesozoico es un periodo crucial para la geología peruana debido al inicio de la orogenia andina. Durante el Triásico, se formaron cuencas extensionales como la Cuenca Pucará, donde se acumularon carbonatos, lutitas y evaporitas. Estas rocas carbonatadas, como las de la Formación Chambará, son de gran interés económico debido a su contenido en fosfatos y su potencial como reservorios de hidrocarburos.

En el Jurásico, la tectónica compresiva generó subsidencia en las cuencas de retroarco, facilitando la acumulación de espesos depósitos clásticos y volcánicos. En el Cretácico, el magmatismo asociado a la subducción dio lugar al Batolito Costero, una extensa intrusión ígnea compuesta principalmente por granodioritas y tonalitas. Este batolito es clave para comprender la formación de

depósitos minerales como los pórfidos cupríferos.

Cenozoico (66 millones de años-presente)

El Cenozoico estuvo dominado por la fase más intensa de la orogenia andina, que dio lugar al levantamiento de la cordillera. Este proceso fue impulsado por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, a una velocidad promedio de 7 cm/año. Durante el Eoceno, se formó el cinturón de pliegues y cabalgaduras de Marañón, que delimitó la Cordillera Oriental.

El Mioceno fue un periodo de gran actividad magmática, con la intrusión de cuerpos graníticos como el Batolito de la Cordillera Blanca. Este batolito está compuesto por granitos peraluminosos tipo S, relacionados con la fusión de rocas metasedimentarias. En el sur del Perú, el vulcanismo cenozoico generó extensas secuencias de lavas andesíticas y dacíticas, representadas por las formaciones Arequipa y Barroso.

En los últimos 2.5 millones de años, el levantamiento continuo de los Andes ha

sido acompañado por glaciaciones que han esculpido el paisaje actual. Los sedimentos glaciares y fluvioglaciares en los valles andinos son testigos de estos eventos climáticos recientes.

Importancia Científica y Económica

La historia geológica del Perú no solo explica la configuración actual del territorio, sino que también es clave para entender la distribución de sus recursos naturales. Las cuencas sedimentarias del Paleozoico y Mesozoico son reservorios de hidrocarburos, mientras que los eventos magmáticos del Cenozoico están asociados con la formación de depósitos minerales de clase mundial, como los pórfidos cupríferos y los epitermales de oro.

El estudio continuo de la historia geológica peruana es fundamental para la exploración de recursos, la evaluación de riesgos naturales y la conservación del patrimonio geológico del país.

2. Tectónica de Placas y la Formación de los Andes

La tectónica de placas es el marco teórico que explica la formación de los Andes peruanos, una de las cadenas montañosas más imponentes y jóvenes del planeta. La interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana ha sido el principal motor geológico detrás de la evolución de los Andes, y su estudio revela procesos tectónicos, magmáticos y sedimentarios que han operado durante millones de años.

Subducción de la Placa de Nazca

El Perú se encuentra en el margen convergente donde la Placa de Nazca subduce bajo la Placa Sudamericana a lo largo de la Fosa Peruano-Chilena. Este proceso, activo desde el Mesozoico tardío (hace aproximadamente 140 millones de años), ha sido responsable de:

1. **Compresión tectónica**: La subducción genera esfuerzos compresivos que han producido el acortamiento y engrosamiento de la corteza continental. Esto explica el levantamiento de los Andes, que alcanzan alturas promedio de 4,000

metros y superan los 6,000 metros en picos como el Huascarán.

2. **Magmatismo**: La fusión parcial del manto inducida por la subducción ha dado lugar a extensas actividades magmáticas. Durante el Cenozoico, esto produjo intrusiones como el Batolito de la Cordillera Blanca y vulcanismo en la Zona Volcánica Central, representada por estratovolcanes como el Misti y el Sabancaya.
3. **Sismicidad y deformación activa**: La interacción entre placas genera una de las zonas sísmicas más activas del mundo. Los terremotos de gran magnitud, como el de 1746 en Lima, están asociados con fallas de cabalgadura y la liberación de tensiones acumuladas en la interfaz de subducción.

Segmentación de los Andes Peruanos

La cordillera andina en el Perú presenta una segmentación geográfica y tectónica que refleja variaciones en el ángulo de subducción y la interacción de las placas:

1. **Zona de Subducción Normal**: Desde el sur de Perú hasta los 15°S, el ángulo de subducción es promedio (~30°). Esta región alberga un cinturón volcánico activo y una deformación tectónica significativa en las cuencas interandinas.
2. **Zona de Subducción Plana**: Entre los 3°S y 15°S, la Placa de Nazca subduce con un ángulo muy bajo (<10°). Este fenómeno inhibe el vulcanismo, pero intensifica la deformación cortical, como se observa en la Cordillera Oriental.
3. **Zona de Subducción Ancha**: En el norte de Perú, la interacción tectónica incluye la subducción de dorsales oceánicas, como la Dorsal de Carnegie. Esto genera anomalías térmicas y estructurales que afectan la deformación regional.

Evolución Geodinámica de los Andes

La formación de los Andes peruanos puede dividirse en varias etapas clave:

1. **Fase Extensional (Triásico-Jurásico)**: Durante esta etapa, la subducción fue oblicua, lo que favoreció la formación de cuencas extensionales y sedimentarias, como la Cuenca Pucará.
2. **Fase de Inversión Tectónica (Cretácico-Terciario)**: La convergencia más perpendicular entre las placas incrementó la compresión, generando pliegues y cabalgaduras. Este proceso culminó en el levantamiento de la cordillera durante el Mioceno (hace 23-5 millones de años).
3. **Fase de Deformación Activa (Cuaternario)**: En los últimos 2 millones de años, el levantamiento andino continúa acompañado de intensa actividad sísmica y vulcanismo, reflejando la dinámica moderna de la subducción.

Relación con los Recursos Naturales

La tectónica de placas ha sido crucial en la formación de recursos geológicos importantes:

1. **Depósitos Minerales**: La subducción ha generado cinturones metalogénicos ricos en cobre, oro y plata, como el Cinturón de Pórfidos Cupríferos del sur del Perú.
2. **Hidrocarburos**: Las cuencas de antepaís formadas por la compresión tectónica, como la Cuenca de Madre de Dios, contienen significativos reservorios de petróleo y gas natural.
3. **Agua y Suelos**: La topografía andina controla el régimen hídrico y la formación de suelos fértiles en los valles interandinos.

Impacto en los Riesgos Naturales

La actividad tectónica también está asociada con riesgos geológicos significativos, incluyendo:

1. **Terremotos**: Los movimientos en la interfaz de subducción y fallas corticales generan eventos de gran magnitud, como el terremoto de 2007 en Pisco.
2. **Deslizamientos y aluviones**: La combinación de pendientes

pronunciadas y precipitaciones intensas hace que los Andes sean propensos a deslizamientos de tierra.

3. **Erupciones volcánicas**: Volcanes como el Ubinas y el Sabancaya representan riesgos potenciales para las comunidades cercanas.

3. Recursos Minerales del Perú y su Formación Geológica

El Perú es reconocido mundialmente por su riqueza mineral, posicionándose como uno de los principales productores de metales en el mundo. Esta abundancia se debe a su compleja historia geológica, marcada por procesos tectónicos, magmáticos y sedimentarios que han favorecido la formación de diversos tipos de depósitos minerales. A continuación, se detalla el origen, la distribución y la importancia económica de estos recursos.

Tipos de Depósitos Minerales en el Perú

1. **Depósitos de Pórfidos Cupríferos**

- **Origen Geológico**: Asociados al magmatismo generado por la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Los pórfidos cupríferos se forman en ambientes de arcos magmáticos durante el enfriamiento de intrusiones ígneas en la corteza superior.
- **Ubicación**: Predominan en la franja metalogénica del sur del Perú, como en los yacimientos de Toquepala, Cuajone y Antamina.

- **Minerales Principales**: Cobre, molibdeno y, en menor proporción, oro y plata.

2. **Depósitos Epitermales**

- **Origen Geológico**: Se forman en sistemas hidrotermales de baja y alta sulfuración, relacionados con intrusiones volcánicas. Estos depósitos están asociados a sistemas magmáticos del Mioceno y Plioceno.
- **Ubicación**: Son comunes en la franja volcánica del sur, como en Yanacocha (Cajamarca), el mayor productor de oro en Sudamérica.
- **Minerales Principales**: Oro, plata y sulfuros de baja temperatura.

3. **Depósitos de Skarn**

- **Origen Geológico**: Formados en zonas de contacto entre intrusiones ígneas y rocas carbonatadas, donde el intercambio químico genera minerales metálicos y no metálicos.
- **Ubicación**: Yacimientos como Antamina (Áncash) combinan características de skarn y pórfidos.

- **Minerales Principales**: Cobre, zinc, plomo y hierro.

4. **Depósitos Sedimentarios y de Placeres**

- **Origen Geológico**: Los depósitos sedimentarios se forman por procesos de concentración mecánica y química en cuencas sedimentarias, mientras que los placeres resultan de la erosión y transporte de minerales pesados.
- **Ubicación**: La cuenca de Madre de Dios es rica en placeres auríferos, mientras que los depósitos sedimentarios se encuentran en la franja fosfática de Bayóvar.
- **Minerales Principales**: Oro, fosfatos y manganeso.

Formación Geológica de los Recursos Minerales

1. **Magmatismo y Subducción**
   La subducción de la Placa de Nazca ha generado una intensa actividad magmática a lo largo de los Andes, produciendo intrusiones graníticas y vulcanismo. Estas actividades son

responsables de la formación de pórfidos cupríferos, epitermales y skarns.

2. **Procesos Hidrotermales**
   Los fluidos hidrotermales, derivados del magma o de la interacción entre agua meteórica y rocas calientes, son clave en la formación de depósitos epitermales y de vetas polimetálicas. Estos fluidos transportan y depositan metales en fracturas y cavidades.

3. **Sedimentación y Erosión**
   En las cuencas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico, la acumulación de materiales clásticos y químicos ha generado depósitos de fosfatos, carbón y manganeso. La erosión de rocas fuente ha concentrado minerales pesados en placeres.

Principales Zonas Metalogénicas del Perú

1. **Franja Costera**
   Rica en depósitos de hierro, como los de Marcona, asociados a intrusiones ígneas del Jurásico.

2. **Cordillera Occidental**
   Alberga depósitos de pórfidos cupríferos y epitermales. Es la región más importante para la minería metálica.

3. **Cuenca Amazónica**
   Contiene placeres auríferos y depósitos de minerales industriales como los fosfatos de Bayóvar.

Importancia Económica y Científica

1. **Aporte al PIB Nacional**
   La minería representa aproximadamente el 10% del Producto Interno Bruto (PIB) del Perú y más del 60% de sus exportaciones totales.

2. **Exploración y Desarrollo**
   La investigación geológica ha permitido identificar nuevos depósitos, mejorando las técnicas de exploración basadas en estudios geofísicos, geoquímicos y modelamiento 3D.

3. **Sostenibilidad y Gestión de Recursos**
   La explotación responsable de recursos minerales es un desafío clave.

Esto incluye la mitigación de impactos ambientales y el desarrollo de tecnologías limpias.

Desafíos Geológicos y Mineros

1. **Exploración en Zonas Remotas**
   Algunas áreas con alto potencial mineral, como la Amazonía, presentan desafíos logísticos y ambientales.
2. **Riesgos Naturales**
   La actividad tectónica y volcánica en los Andes puede afectar las operaciones mineras.
3. **Cambio Climático**
   Las alteraciones en los regímenes hídricos impactan la disponibilidad de agua para las operaciones mineras y las comunidades locales.

4. Vulcanismo en el Perú

El vulcanismo en el Perú es una expresión directa de la intensa actividad tectónica que caracteriza a la región andina, estrechamente vinculada al proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Este subtema analiza los principales volcanes activos del país, su contexto dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico y las implicancias del vulcanismo andino.

Cinturón de Fuego del Pacífico y el Vulcanismo Andino

1. **El Cinturón de Fuego del Pacífico**

- Es una región geológicamente activa que bordea el Océano Pacífico y concentra más del 75% de los volcanes activos del mundo.
- El Perú forma parte de este cinturón debido a la interacción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana.
- La subducción genera una fosa oceánica profunda (Fosa de Perú-Chile) y una cadena de volcanes en la Cordillera Occidental de los Andes.

2. **El Vulcanismo Andino**

- Es una de las características más prominentes del Cinturón de Fuego.
- La actividad volcánica se concentra principalmente en el sur del Perú, en las regiones de Arequipa, Moquegua y Tacna.
- Los volcanes andinos son predominantemente de tipo estratovolcán, caracterizados por su forma cónica y erupciones explosivas debido a la alta viscosidad del magma rico en sílice.

Principales Volcanes Activos del Perú

1. **Volcán Misti**

- **Ubicación**: Región de Arequipa, a 17 km de la ciudad de Arequipa.
- **Altura**: 5,822 metros sobre el nivel del mar.
- **Actividad**: Aunque su última erupción significativa ocurrió en el siglo XV, sigue considerado activo debido a la

presencia de fumarolas y actividad sísmica asociada.

- **Riesgo**: Su proximidad a una ciudad densamente poblada lo convierte en una amenaza potencial. Estudios recientes han revelado depósitos de flujos piroclásticos que podrían impactar gravemente a Arequipa en caso de una erupción futura.

2. **Volcán Sabancaya**

- **Ubicación**: Provincia de Caylloma, Arequipa.
- **Altura**: 5,976 metros.
- **Actividad**: Es uno de los volcanes más activos del Perú, con erupciones frecuentes desde 1986. Su actividad actual incluye emisiones de ceniza y gases, acompañadas de sismos volcánicos.
- **Impacto**: Las cenizas expulsadas afectan la calidad del aire y los cultivos en las comunidades cercanas.

3. **Volcán Ubinas**

- **Ubicación**: Región de Moquegua.

- **Altura**: 5,672 metros.
- **Actividad**: Considerado el volcán más activo del Perú. Desde el año 2006, ha registrado varias erupciones explosivas y emisiones de ceniza.
- **Riesgo**: Las erupciones frecuentes afectan a las poblaciones cercanas, como Querapi, que ha sido reubicada debido al peligro.

Procesos Volcánicos Asociados

1. **Erupciones Explosivas**

- Los volcanes peruanos suelen generar erupciones explosivas debido a la composición andesítica y dacítica de su magma.
- Estas erupciones producen columnas de ceniza, flujos piroclásticos y lahares.

2. **Fumarolas y Emisiones de Gases**

- Los volcanes activos, como el Sabancaya, emiten dióxido de azufre (SO_2) y otros gases volcánicos, indicadores clave de su actividad.

3. **Lava y Depósitos de Ceniza**

- Aunque menos comunes, las coladas de lava han sido documentadas en algunos volcanes.
- Los depósitos de ceniza pueden extenderse a cientos de kilómetros, afectando la agricultura y la salud humana.

Importancia del Vulcanismo en el Perú

1. **Riesgos Geológicos**

- La actividad volcánica representa una amenaza significativa para las poblaciones cercanas. Los flujos piroclásticos, lahares y caídas de ceniza son los principales peligros asociados.
- Ejemplo: En 2019, el Ubinas expulsó cenizas que afectaron a más de 29,000 personas.

2. **Recursos Naturales**

- Los volcanes son una fuente importante de recursos geotérmicos y minerales.

- Ejemplo: Las rocas volcánicas contienen depósitos de azufre y metales como cobre y oro.

3. **Impacto en el Clima y el Medio Ambiente**

- Las emisiones volcánicas pueden influir en el clima local y global. Las grandes erupciones liberan partículas que reflejan la radiación solar, generando un enfriamiento temporal.

4. **Turismo y Cultura**

- Volcanes como el Misti son atractivos turísticos y tienen un valor cultural significativo.

- En la cosmovisión andina, los volcanes son considerados apus (montañas sagradas) que protegen a las comunidades.

Monitoreo y Gestión del Vulcanismo

1. **Instituciones y Redes de Monitoreo**

- El Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Observatorio Vulcanológico del Sur (OVS) monitorean la actividad

volcánica mediante estaciones sísmicas, cámaras térmicas y análisis de gases.

2. **Planes de Contingencia**

- Las autoridades locales desarrollan planes de evacuación y zonas de exclusión para minimizar el impacto de las erupciones.

3. **Educación y Concienciación**

- La población debe estar informada sobre los riesgos volcánicos y las medidas preventivas para reducir la vulnerabilidad.

5. Cuencas Sedimentarias

Las cuencas sedimentarias del Perú son áreas de gran relevancia geológica y económica, pues albergan importantes recursos energéticos como petróleo y gas natural. Este subtema aborda la geología de las principales cuencas sedimentarias del país y su relación con la industria de hidrocarburos.

Geología de las Principales Cuencas Sedimentarias

Las cuencas sedimentarias peruanas se formaron durante distintas etapas tectónicas, en ambientes que variaron desde marinos a continentales. Estas cuencas contienen una sucesión de sedimentos que registran millones de años de historia geológica.

1. **Cuenca del Marañón**

- **Ubicación**: Extiende su influencia sobre las regiones de Loreto, San Martín, y parte de Amazonas.
- **Origen y Geología**:
    - Se formó durante el Paleozoico y Mesozoico, con fases de subsidencia que permitieron la

acumulación de sedimentos marinos y continentales.

- Predominan formaciones de lutitas, areniscas y calizas, con edades que van desde el Ordovícico hasta el Cretácico.

- **Importancia**:
  - Es la principal cuenca productora de petróleo en el Perú, con yacimientos importantes como el Lote 8 y el Lote 192.
  - Los hidrocarburos se acumulan en trampas estructurales y estratigráficas asociadas a fallas y anticlinales.

2. **Cuenca de Ucayali**

- **Ubicación**: Comprende las regiones de Ucayali, Pasco y Huánuco.

- **Origen y Geología**:
  - Formada en el Paleozoico tardío, evolucionó como una cuenca de retroarco durante el Mesozoico y el Cenozoico.
  - Contiene depósitos de lutitas y areniscas con alto contenido de

materia orgánica, esenciales para la generación de hidrocarburos.

- **Importancia**:
  - Es una cuenca clave para la producción de gas natural, especialmente en yacimientos como Camisea.
  - Los sistemas de roca generadora, roca almacén y sellos son altamente eficientes, lo que ha favorecido la explotación comercial.

3. **Cuenca de Madre de Dios**

- **Ubicación**: Región de Madre de Dios, en el sureste del Perú, cerca de la frontera con Brasil y Bolivia.
- **Origen y Geología**:
  - Se desarrolló durante el Mesozoico y el Cenozoico, principalmente en un ambiente fluvial y deltaico.
  - Predominan sedimentos de origen continental, como areniscas y conglomerados.

- **Importancia**:
    - Aunque su potencial hidrocarburífero no está completamente explotado, es conocida por su riqueza en recursos auríferos aluviales.

Relación con la Extracción de Petróleo y Gas Natural

1. **Formación de Hidrocarburos**

- En las cuencas sedimentarias, la acumulación de materia orgánica en ambientes anóxicos permitió la generación de petróleo y gas.
- Los hidrocarburos migraron hacia rocas porosas (rocas almacén) y quedaron atrapados por estructuras geológicas como fallas y anticlinales.

2. **Producción de Hidrocarburos**

- **Petróleo**:
    - La Cuenca del Marañón es el principal productor de petróleo en el Perú.

- Las operaciones incluyen extracción convencional y transporte a través del Oleoducto Norperuano.

- **Gas Natural**:
  - La Cuenca de Ucayali, con el proyecto Camisea, lidera la producción de gas natural.
  - Camisea abastece el mercado interno y exporta gas licuado a mercados internacionales.

3. **Impacto Económico y Social**
   - La explotación de hidrocarburos en estas cuencas representa una fuente importante de ingresos para el país.
   - Sin embargo, también genera desafíos ambientales y sociales, especialmente en áreas de alta biodiversidad y territorios indígenas.

Desafíos y Perspectivas

1. **Exploración y Desarrollo**

- A pesar de su potencial, varias áreas de las cuencas sedimentarias peruanas permanecen subexploradas.

- Las tecnologías modernas, como la sísmica 3D y los estudios geofísicos avanzados, están permitiendo identificar nuevas reservas.

2. **Impactos Ambientales**

- La extracción de hidrocarburos puede causar deforestación, contaminación de ríos y afectaciones a la biodiversidad.

- Ejemplo: Derrames en el Oleoducto Norperuano han impactado ecosistemas y comunidades locales.

3. **Sostenibilidad y Transición Energética**

- El Perú enfrenta el desafío de equilibrar la explotación de hidrocarburos con la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.

- Las cuencas sedimentarias podrían jugar un papel en esta transición mediante la captura y almacenamiento de carbono en formaciones geológicas profundas.

6. Geología Ambiental y Riesgos Naturales

La geología ambiental y los riesgos naturales son aspectos críticos en un país como el Perú, caracterizado por su diversidad geológica, intensa actividad tectónica y una economía basada en la explotación de recursos naturales. Este subtema aborda el impacto ambiental de las actividades mineras y la gestión de riesgos geológicos como deslizamientos, aluviones y terremotos.

Impacto Ambiental de la Minería y Explotación de Recursos

El Perú es uno de los principales productores de minerales en el mundo, destacándose en la extracción de cobre, oro, zinc y plata. Sin embargo, estas actividades tienen un impacto significativo en el medio ambiente:

1. **Contaminación de Suelos y Aguas**

- **Drenaje Ácido de Minas (DAM)**:
  - Es uno de los mayores problemas ambientales asociados a la minería. Ocurre cuando los minerales sulfurados, como la pirita, reaccionan con el agua y el oxígeno, generando

ácido sulfúrico que disuelve metales pesados.

- Ejemplo: El DAM afecta cuerpos de agua como el río Mantaro, impactando la biodiversidad y las comunidades locales.

- **Metales Pesados**:
  - La minería puede liberar arsénico, mercurio y plomo, contaminando suelos y aguas subterráneas.

2. **Deforestación y Pérdida de Biodiversidad**

- La minería a cielo abierto requiere la remoción de grandes áreas de vegetación y suelo.
- Ejemplo: En la región de Madre de Dios, la minería aurífera ha causado la pérdida de miles de hectáreas de bosque amazónico.

3. **Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

- Las operaciones mineras, especialmente la fundición y el transporte, generan emisiones

significativas de dióxido de carbono (CO_2).

4. **Gestión de Relaves**

- Los depósitos de relaves son una fuente de contaminación si no se gestionan adecuadamente.
- Ejemplo: El colapso de relaves puede liberar materiales tóxicos a los ríos, como ocurrió en el río Opamayo (Huancavelica).

Gestión de Riesgos Geológicos

El Perú enfrenta una variedad de riesgos geológicos debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico y su geografía montañosa. Estos riesgos incluyen deslizamientos, aluviones y terremotos.

1. **Deslizamientos**

- **Causas Geológicas**:
    - Ocurren en laderas inestables con pendientes pronunciadas, exacerbadas por lluvias intensas, actividad sísmica o deforestación.

- **Ejemplo**:
    - En 2023, un deslizamiento en Retamas (La Libertad) sepultó viviendas, mostrando la vulnerabilidad de las comunidades en zonas de riesgo.
- **Medidas de Gestión**:
    - Monitoreo de laderas mediante sensores y drones.
    - Reforestación para estabilizar el suelo.

2. **Aluviones**

- **Causas Geológicas**:
    - Los aluviones, también conocidos como huaycos, son flujos de lodo y escombros desencadenados por lluvias torrenciales o el desborde de lagunas glaciares.
- **Ejemplo**:
    - En 1941, el desborde de la laguna Palcacocha en Huaraz causó más de 5,000 muertes.

- **Medidas de Gestión**:
    - Construcción de diques y sistemas de drenaje en lagunas glaciares.
    - Monitoreo constante mediante imágenes satelitales y estudios geofísicos.

3. **Terremotos**

- **Causas Geológicas**:
    - La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana genera intensa actividad sísmica.
- **Ejemplo**:
    - El terremoto de Pisco (2007), de magnitud 8.0, dejó más de 500 muertos y miles de damnificados.
- **Medidas de Gestión**:
    - Implementación de normas de construcción sismorresistente.
    - Educación a la población sobre planes de evacuación y simulacros.

Estrategias de Mitigación y Desarrollo Sostenible

1. **Rehabilitación de Áreas Degradadas**
    - Uso de tecnologías como la fitoremediación, que emplea plantas para eliminar contaminantes del suelo y agua.
    - Restauración de ecosistemas afectados por minería mediante la reforestación y la creación de áreas protegidas.
2. **Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA)**
    - Las EIA son obligatorias para proyectos mineros en el Perú y buscan identificar, mitigar y monitorear los impactos ambientales.
3. **Gestión de Riesgos Geológicos**
    - Fortalecimiento del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

- Desarrollo de mapas de riesgo geológico para orientar la planificación urbana y rural.

7. Patrimonio Geológico y Geoturismo

El Perú es un país de enorme riqueza geológica, con una diversidad de formaciones y paisajes que no solo tienen un valor científico y educativo, sino también un potencial turístico significativo. Este subtema aborda algunos de los lugares geológicos más emblemáticos del país, como el Cañón del Colca, Marcahuasi y los geoparques, así como la importancia del geoturismo para la educación y conservación del patrimonio natural.

Lugares Emblemáticos

- **Cañón del Colca**
    - **Ubicación**: Región Arequipa, en el sur del Perú.
    - **Geología**: El Cañón del Colca es uno de los cañones más profundos del mundo, con una profundidad de más de 3,000 metros. Su formación es el resultado de procesos tectónicos, erosión fluvial y actividad volcánica. La cuenca del río Colca ha sido esculpida por miles de años de erosión, creando un paisaje dramático de acantilados

y terrazas agrícolas. Las rocas predominantes son de origen volcánico, como andesitas y riolitas, asociadas con la actividad del volcán Chachani.

- **Importancia Geoturística**: El cañón es un destino turístico popular debido a su belleza escénica y la posibilidad de observar el vuelo del cóndor andino. Además de su valor geológico, el Cañón del Colca es un ejemplo de la interacción entre la geología y las prácticas agrícolas tradicionales, como las terrazas de cultivo preincaicas.

- **Marcahuasi**

  - **Ubicación**: En la provincia de Huarochirí, a unos 4,000 metros sobre el nivel del mar, en la región Lima.

  - **Geología**: Marcahuasi es un meseta de rocas volcánicas, donde se pueden encontrar formaciones rocosas de formas caprichosas que han sido moldeadas por la erosión eólica. Las rocas predominantes

son de origen andesítico, formadas por la actividad volcánica en el pasado. La erosión ha producido formaciones que parecen figuras humanas y animales, lo que le ha dado un carácter místico y cultural al lugar.

- **Importancia Geoturística**: Marcahuasi es un sitio de gran atracción para los turistas que buscan explorar tanto su geología única como su contexto cultural y mitológico. La conexión entre las formaciones rocosas y las leyendas locales, como las de los "Hombres de Piedra", le otorgan un atractivo adicional para los visitantes.

- **Geoparques**

  - **Definición**: Los geoparques son áreas geográficas que tienen un valor geológico excepcional y que son gestionadas con el fin de conservar su patrimonio geológico y promover el desarrollo sostenible a través del geoturismo.

  - **Geoparque de los Andes de Tumbes**: Este geoparque está

ubicado en la región norte del Perú, en la frontera con Ecuador. Presenta una gran diversidad de formaciones geológicas, como fósiles marinos, terrazas fluviales y formaciones volcánicas. Su valor geológico se debe a la interacción entre la tectónica de placas, la actividad volcánica y la erosión fluvial.

- **Geoparque de los Valles de los Andes Centrales**: Ubicado en la región central del país, este geoparque abarca formaciones geológicas que datan desde el Paleozoico hasta el Cenozoico. Su importancia radica en la diversidad de paisajes geológicos, como cañones, glaciares y montañas, que han sido moldeados por procesos tectónicos y climáticos.

- **Importancia del Geoturismo para la Educación y Conservación**
- **Educación Geológica**
  - El geoturismo es una herramienta educativa clave, ya que permite a

los visitantes comprender la historia geológica de una región mediante la observación directa de sus formaciones geológicas.

- Los guías especializados en geología proporcionan información sobre la formación de montañas, volcanes, cañones y otras estructuras geológicas, promoviendo la educación ambiental y geológica.
- Ejemplo: En el Cañón del Colca, los turistas aprenden sobre la tectónica de placas, la erosión fluvial y la actividad volcánica que ha dado forma al cañón a lo largo de millones de años.

- **Conservación del Patrimonio Geológico**
  - El geoturismo promueve la conservación de los sitios geológicos al generar ingresos que pueden ser invertidos en la protección de estos lugares.
  - La creación de geoparques y la promoción del turismo responsable permiten la preservación de áreas

de alto valor geológico, mientras se educa a la población sobre la importancia de conservar estos patrimonios naturales.

- Ejemplo: El geoparque de los Andes de Tumbes fomenta la conservación de los paisajes geológicos, mientras apoya a las comunidades locales mediante el turismo sostenible.

- **Desarrollo Sostenible y Turismo Responsable**

  - El geoturismo, cuando se maneja adecuadamente, puede ser una fuente de desarrollo económico para las comunidades locales, promoviendo la creación de empleos en el sector turístico sin causar un impacto negativo en el medio ambiente.

  - Las actividades turísticas deben centrarse en el respeto por los ecosistemas locales y la implementación de prácticas sostenibles, como el uso de energías renovables y el manejo adecuado de residuos.

- **Fomento del Turismo Científico**
    - El geoturismo también puede atraer a investigadores y científicos que deseen estudiar los procesos geológicos en el terreno.
    - La colaboración entre geólogos, ecólogos y comunidades locales puede generar proyectos de investigación que beneficien tanto al conocimiento científico como a la conservación del patrimonio natural.

8. Geología de la Costa, Sierra y Selva

10.1 Región Costa

La Costa peruana, una faja de 100–200 km de ancho que corre paralela al Océano Pacífico, está constituida por:

1. **Unidades Litoestratigráficas**
   - **Formaciones Neógenas y Cuaternarias**: conglomerados, areniscas y limos depositados por sistemas fluviales y eólicos.
   - **Terrazas Marinas**: escalonamientos de calizas y depósitos detríticos marinos, correlacionados con pulsos eustáticos y levantamiento tectónico cuaternario.
2. **Estructura y Tectónica**
   - **Fosa de Perú–Chile**: fosa de subducción con pendientes de 4–5 km/km, asociada a la placa de Nazca.
   - **Sistemas de Fallas Litorales**: fallas inversas y cabalgaduras que deforman las terrazas y controlan la génesis de cuencas intramontanas costeras.

3. **Procesos Geomorfológicos Activos**

- **Erosión Marina**: modelado de acantilados y plataformas de abrasión.
- **Deflación eólica**: formación de dunas activas, particularmente en Ica y Sechura.
- **Sedimentación Aluvial**: aporte estacional de sedimentos andinos, que da lugar a valles aluviales y sistemas de riego.

10.2 Región Sierra

La Sierra —o Andes peruanos— es una cordillera de relieve abrupto y elevada complejidad geológica:

1. **Unidades Litoestratigráficas**

- **Basamento Precámbrico–Paleozoico**: gneises y migmatitas del Macizo Arequipa-Antofalla, con eventos metamórficos de alto grado (>700 °C, 7–10 kbar).
- **Sucesiones Mesozoicas**: sedimentos marinos (calizas,

lutitas) y vulcanitas triásicas-jurásicas de la Cuenca Pucará.

- **Intrusivos Cretácicos–Cenozoicos**: batolitos costeros y cordilleranos (Batolito Costero, Batolito de la Cordillera Blanca), granodioritas y tonalitas asociadas a sistemas pórfidos.

2. **Estructura y Tectónica**

- **Acortamiento Cortical**: pliegues, cabalgaduras y fallas inversas con vergencia occidental de 20–30 km de vergencia acumulada.
- **Segmentación Andina**: variaciones en el ángulo de subducción (normal, plano y ancho) que controlan la distribución de volcanismo y la deformación cortical.

3. **Procesos Geomorfológicos Activos**

- **Glaciación Cuaternaria**: valles en “U”, morrenas y depósitos fluvioglaciares en Cordillera Blanca y Huayhuash.

- **Movimientos en Masa**: deslizamientos de roca y flujos de detritos, exacerbados por lluvias intensas y sismos.

10.3 Región Selva

La Selva, o Cuenca Amazónica peruana, es una llanura de relleno sedimentario profundo:

1. **Unidades Litoestratigráficas**

- **Relleno Mesozoico–Cenozoico**: secuencias de lutitas ricas en materia orgánica (rocas generadoras de hidrocarburos), areniscas fluviales y conglomerados.
- **Depósitos Aluviales Actuales**: sedimentos recientes de ríos meándricos (Amazonas, Ucayali, Marañón), con barras de arena y planicies de inundación.

2. **Estructura y Tectónica**

- **Antepaís Andino**: cuenca de antepaís resultante del acortamiento cortical, con un

espesor de sedimentos que supera los 10 km.

- **Fallamiento Reactivo**: fallas inversas menores y flexuras relacionadas con la carga sedimentaria y la flexión de la placa.

3. **Procesos Geomorfológicos Activos**

- **Meandros y Avulsiones**: dinámica fluvial que configura anastomosis de canales, oxbow lakes y terrazas de inundación.
- **Erosión Química**: intensa meteorización en clima tropical, formación de suelos lateríticos y lateríticos profundos.

9. Avances y Retos en la Geología del Perú

Durante las últimas décadas, la geología del Perú ha experimentado importantes avances científicos y tecnológicos, tanto en el conocimiento de su compleja configuración geodinámica como en la aplicación de metodologías modernas para la exploración y aprovechamiento sostenible de sus recursos geológicos. Estos avances han sido impulsados por la cooperación entre instituciones académicas, centros de investigación, el sector minero-energético y organismos del Estado como el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y el Servicio Geológico del Perú.

Uno de los logros más significativos ha sido la actualización cartográfica a escalas detalladas (1:100,000 y 1:50,000), que ha permitido reinterpretar y redefinir numerosas unidades litoestratigráficas y estructuras tectónicas. Asimismo, el uso de tecnologías como la teledetección satelital, el mapeo geofísico aerotransportado, y el análisis isotópico y geoquímico ha facilitado la comprensión de los procesos metalogenéticos y la delimitación de áreas con potencial económico, especialmente en los Andes centrales y meridionales.

En el ámbito de la geodinámica, se ha profundizado en el estudio de la interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, identificando zonas de acoplamiento sísmico, segmentación de la zona de subducción y su relación con la distribución de volcanes activos y terremotos de gran magnitud. Estos estudios son fundamentales para la evaluación del riesgo geológico y la planificación urbana, particularmente en ciudades como Lima, Arequipa y Cusco.

No obstante, persisten importantes desafíos. El primero es la necesidad de expandir el conocimiento geológico hacia la Amazonía peruana, una región con escasa cobertura cartográfica y aún baja densidad de datos geofísicos y geoquímicos. Esta área posee un elevado potencial hidrocarburífero y mineralógico, pero también una alta fragilidad ecológica, lo que demanda estudios interdisciplinarios y políticas sostenibles.

Otro reto es la integración de la geología con otras disciplinas para enfrentar los efectos del cambio climático y los desastres naturales. La comprensión de la susceptibilidad geológica a

deslizamientos, erosión, subsidencia del suelo y aluviones se vuelve cada vez más relevante frente al incremento de eventos extremos. A esto se suma la urgencia de desarrollar un marco normativo robusto que regule el uso del territorio considerando criterios geocientíficos.

Finalmente, es imperativo fortalecer la educación y formación de nuevos geocientíficos, fomentando la investigación científica con enfoque territorial e inclusivo. A pesar de los avances, muchas universidades enfrentan limitaciones en infraestructura y financiamiento para investigaciones de campo y laboratorio.

En conclusión, la geología del Perú ha dado pasos firmes en la caracterización de su territorio, pero los retos por delante exigen una visión estratégica, inversiones sostenidas en ciencia aplicada y una gobernanza del territorio basada en el conocimiento geológico. El futuro de la geología en el país dependerá de nuestra capacidad para integrar la ciencia con el desarrollo sostenible y la gestión responsable de los recursos naturales.

GEOLOGÍA DEL PERÚ

Una mirada a través de la geología peruana

Este libro ofrece una visión panorámica y accesible de la geología peruana, desarrollando de manera clara las bases fundamentales para comprender la complejidad geológica de nuestro país. Su enfoque conciso y directo lo convierte en una obra perfecta para aquellos profesionales que, aunque no sean geólogos, buscan adentrarse en el fascinante mundo de la geología del Perú sin perderse en tecnicismos. Con este resumen, Sara García facilita el acceso a un tema crucial para entender el entorno natural y su impacto en el desarrollo y la sostenibilidad de Perú.

ISBN: 978-612-03-0816-5
9 786120 308165